

Abordagens de Manutenção / Prevenção de Falhas

Depto. de Engenharia de Produção
Escola Politécnica da USP

Prof. Dr. Dario Ikuo Miyake

Nigel Slack
Stuart Chambers
Robert Johnston

2023

Parte do Capítulo 11, de “Administração da Produção –
edição compacta” São Paulo: Atlas, 1999.

Importância da Manutenção

A realização das atividades de manutenção dos recursos produtivos possibilita evitar a ocorrência de falhas que prejudicam a normalidade das operações.

Benefícios:

- Aumento da segurança
- Aumento da confiabilidade
- Aumento da qualidade de conformidade (menos defeitos)
- Prolongamento do tempo de vida dos equipamentos
- Maior valor residual dos equipamentos
- Redução de custos operacionais

Abordagens básicas para a manutenção

Manutenção Corretiva

- Natureza reativa
- Realizada após a ocorrência da falha
- Para itens cuja falha é tolerável e para os quais a prevenção seria mais cara
- Envolve reparos em geral menos complexos
- Sua execução requer urgência

Manutenção Preventiva

- Natureza proativa
- Realizada para se evitar a ocorrência da falha (substituição do item antes que falhe)
- Para itens cuja falha tem consequências mais severas e custos bem elevados
- Sua execução é feita periodicamente de forma programada

Manutenção Preditiva

- Natureza proativa
- Realizada para se evitar a ocorrência da falha e necessidade de parada
- Para itens cujo custo da parada é muito elevado (ex. processo contínuo)
- Pode envolver monitoramento contínuo das condições do item controlado (ex. vibração, ruído, temperatura) em operação (próximo do fim de vida?)

Abordagens básicas para a manutenção

Manutenção Corretiva

- Lâmpada
- Palheta do limpador de para-brisa

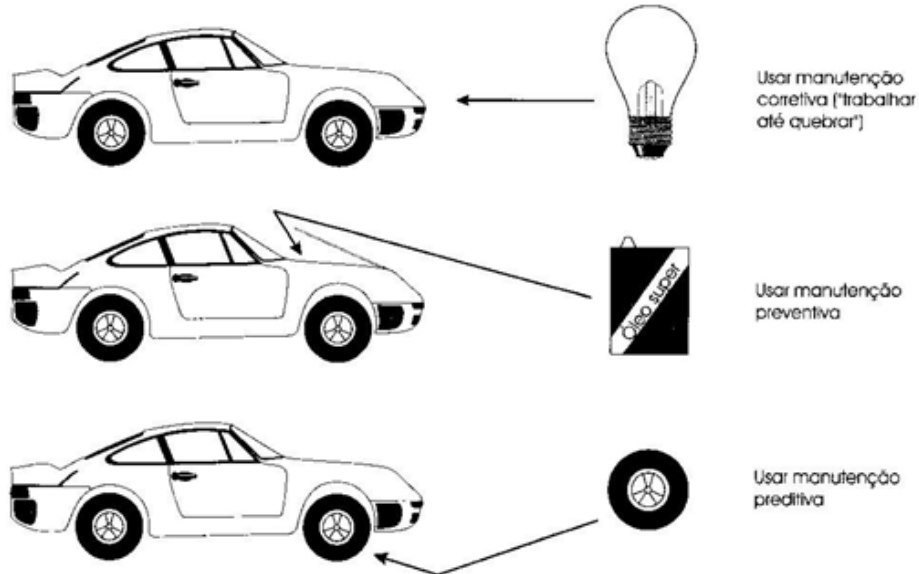
Manutenção Preventiva

- Bateria
- Pastilhas de freio
- Discos de freio
- Filtros
- Óleo lubrificante

Manutenção Preditiva

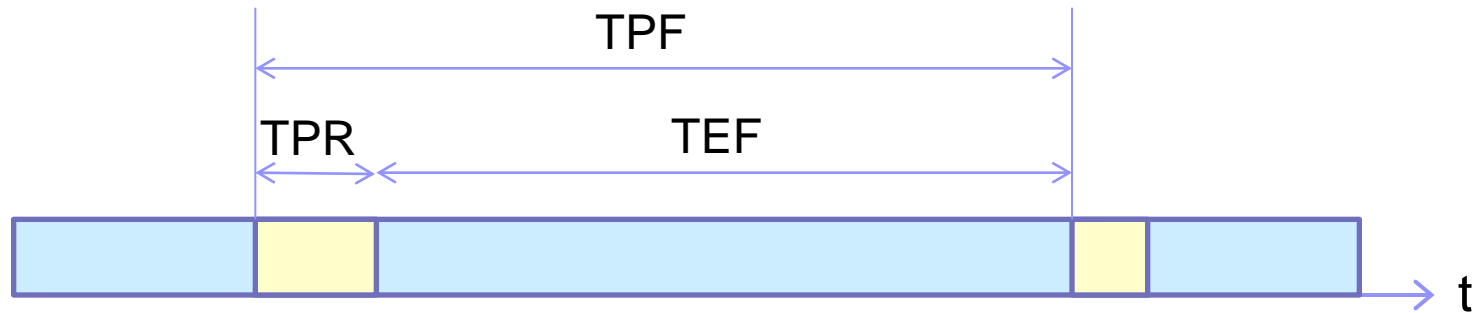
- Pneus

Exemplos de aplicação de uma combinação de diferentes abordagens na manutenção de componentes de um automóvel



Indicadores para gestão da manutenção

- Disponível para operação
- Em manutenção ou aguardando por ela



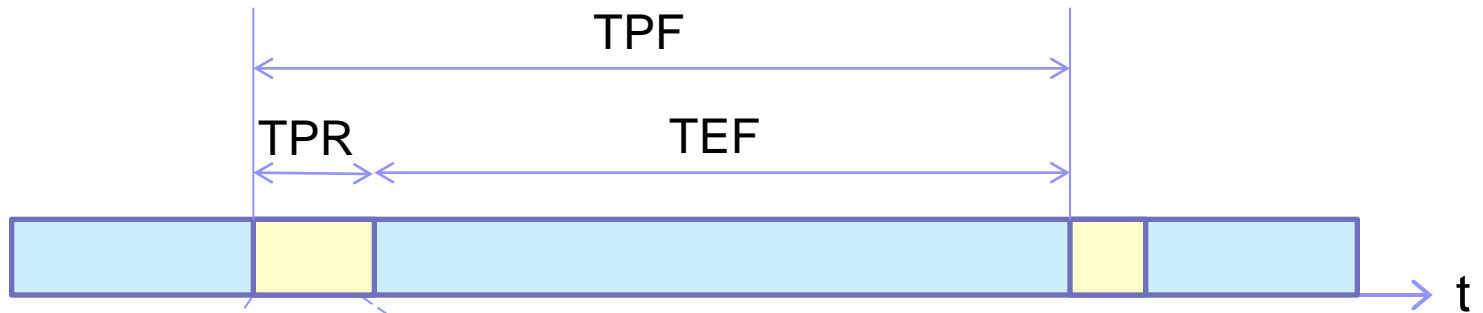
TPF = tempo para falha (TTF - *time to failure*)

TEF = tempo entre falhas (TBF - *time between failures*)

TPR = tempo para reparo (TTR - *time to repair*)

Indicadores para gestão da manutenção

- Disponível para operação
- Em manutenção ou aguardando por ela



TPF = tempo para falha (TTF - *time to failure*)

TEF = tempo entre falhas (TBF - *time between failures*)

TPR = tempo para reparo (TTR - *time to repair*)

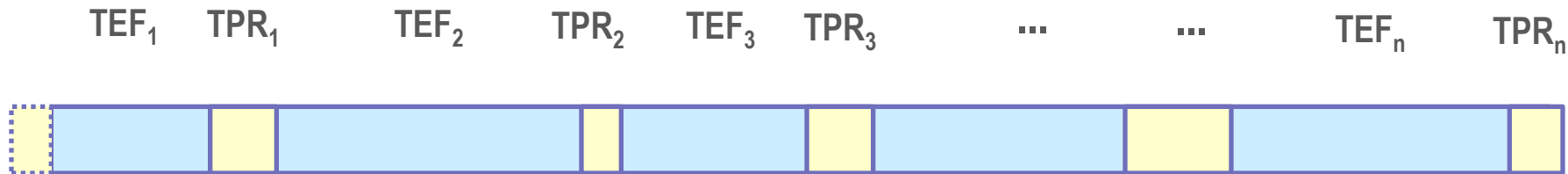
Operação normal

Composição do tempo para reparo (**TPR**)

Operação normal

	Aguardando manutenção	Análise e diagnóstico	Obtenção de componentes de reposição	Manutenção física	Testes e liberação	
--	-----------------------	-----------------------	--------------------------------------	-------------------	--------------------	--

Indicadores para gestão da manutenção



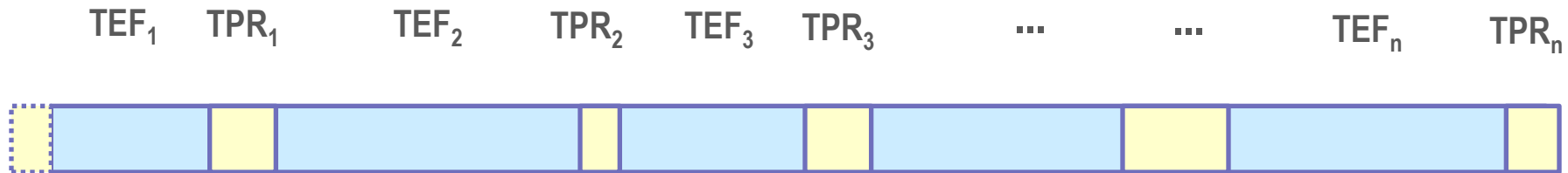
TMEF = tempo médio entre falhas (MTBF – *mean time between failures*)

trata-se da média dos tempos decorridos desde o fim de cada reparo e a ocorrência da falha seguinte

TMDR = tempo médio de reparo (MTTR – *mean time to repair*)

trata-se da média dos tempos utilizados exclusivamente na realização de reparos causados pela ocorrência da uma falha

Indicadores para gestão da manutenção



TF = taxa de falhas

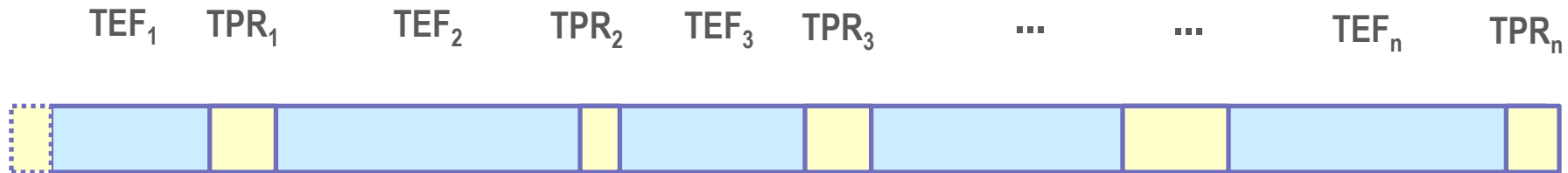
$$TF = \frac{\text{Número de falhas}}{\text{Número total de produtos testados}} \times 100$$

ou

$$TF = \frac{\text{Número de falhas}}{\text{Tempo de operação}} = \text{taxa de falhas em tempo}$$

Vale observar que: $TMEF = \frac{\text{Tempo de operação}}{\text{Número de falhas}} = \frac{1}{TF}$

Disponibilidade



$$D = \frac{TMEF}{TMEF + TMDR} \quad \text{ou} \quad D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Táticas para elevar a Disponibilidade:

1. Aumentar o numerador → Aumentar o **TMEF** por meio de ações que melhoram a confiabilidade dos recursos ou de suas partes
2. Reduzir o denominador → Diminuir o **TMDR** por meio de ações que melhoram a capacidade e velocidade de execução de reparos

Exemplo de avaliação da Disponibilidade

Uma empresa gráfica que produz cartazes para exposições e eventos de promoção de vendas compete com base em sua rapidez de entrega. Um dos principais equipamentos que ela usa é a impressora colorida de cartazes e fotoprodutos de formatos grandes que imprime em bobinas. Uma peça específica desse equipamento está causando alguns problemas. Atualmente, o tempo médio entre falhas (TMEF) desta impressora é de 70 horas e o tempo médio para consertá-la é de 6 horas.



A empresa discutiu seu problema com o fornecedor da impressora, que ofereceu 2 propostas alternativas para o serviço de manutenção. Uma opção seria contratar um serviço de manutenção preventiva terceirizado que seria realizado em cada final de semana. Isso aumentaria o TMEF da impressora para 90 horas. Outra opção seria contratar um serviço de reparos mais rápido, o que reduziria o TMDR para 4 horas. As 2 opções custariam o mesmo. Qual das opções seria mais vantajoso para a empresa gráfica?

$$\text{Disponibilidade atual} = \text{TMEF} / (\text{TMEF} + \text{TMDR}) = 70 / (70 + 6) = 70 / 76 = 0,92 = 92\%$$

Para a opção de manutenção preventiva terceirizada:

$$\text{Disponibilidade} = 90 / (90 + 6) = 90 / 96 = 0,9375 \cong 93,8\%$$

Para a opção de reparo mais rápido:

$$\text{Disponibilidade} = 70 / (70 + 4) = 70 / 74 = 0,9459 \cong 94,6\%$$

∴ A melhor opção para a empresa gráfica seria aceitar a opção do serviço de reparo mais rápido que tornaria a disponibilidade da impressora maior.

Análise do Modo e Efeito de Falhas

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Prioridade do risco: Obtido do produto dos índices de Frequência, Severidade e Detecção

ESCOPO		ANÁLISE DA SITUAÇÃO ATUAL			ATUAL				PLANO DE AÇÕES			MELHORADO			
Componente / Sistema	Modo de falha	Efeito do modo de falha	Causa do modo de falha	Controle previsto	severidade	frequência	detecção	Risco (NPR)	Ação	Responsável	Validação	severidade	frequência	detecção	Risco (NPR)

Ferramenta para identificar e avaliar o risco de possíveis falhas em:

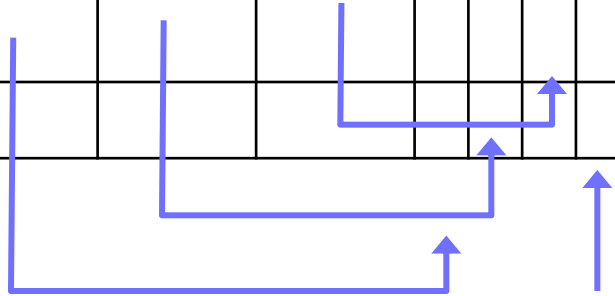
- Projeto de Produtos (ou de Serviços)
- Projeto de Processos de Fabricação (ou de Prestação de Serviços)

Análise do Modo e Efeito de Falhas

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Prioridade do risco: Obtido em função dos índices de Severidade, Frequência e Detecção

ESCOPO		ANÁLISE DA SITUAÇÃO ATUAL			ATUAL				PLANO DE AÇÕES			MELHORADO			
Componente / Sistema	Modo de falha	Efeito do modo de falha	Causa do modo de falha	Controle previsto	severidade	frequência	detecção	Risco (NPR)	Ação	Responsável	Validação	severidade	frequência	detecção	Risco (NPR)



Número de Prioridade de Risco (NPR) = f (Severidade dos efeitos da falha, Probabilidade de falha, Probabilidade de detecção)

Análise do Modo e Efeito de Falhas (FMEA)

Escala de avaliação para Frequência de Ocorrência de Falhas

A. Ocorrência de falhas			
	Descrição	Avaliação	Possível ocorrência de falhas
	Probabilidade remota de ocorrência Não seria razoável esperar que ocorressem falhas	1	0
	Baixa probabilidade de ocorrência	2	1:20.000
	Geralmente associada com atividades similares a outras anteriores que tiveram falhas ocasionais	3	1:10.000
	Probabilidade moderada de ocorrência	4	1:2.000
	Geralmente associada com atividades similares a outras anteriores que tiveram falhas ocasionais	5	1:1.000
		6	1:200
	Alta probabilidade de ocorrência	7	1:100
	Geralmente associada com atividades similares a outras anteriores que tradicionalmente causaram problemas	8	1:20
	Probabilidade muito alta de ocorrência de falhas	9	1:10
	Quase certo que falhas importantes ocorrerão	10	1:2

Quanto maior pior

Análise do Modo e Efeito de Falhas (FMEA)

Escala de avaliação para Severidade de Falhas

B. Severidade das falhas

Descrição	Avaliação
Severidade pequena Uma falha muito pequena que não teria efeito notável no desempenho do sistema	1
Severidade baixa Uma falha pequena que causa leve aborrecimento aos clientes	2 3
Severidade moderada Uma falha que causaria algum descontentamento, desconforto ou aborrecimento ou causaria deterioração notável no desempenho	4 5 6
Alta severidade Uma falha que ocasionaria alto grau de descontentamento dos clientes	7 8
Severidade muito alta Uma falha que afetaria a segurança	9
Catastrófica Uma falha que pode causar danos à propriedade, ferimentos sérios ou morte	10

Quanto maior pior

Análise do Modo e Efeito de Falhas (FMEA)

Escala de avaliação para Detecção de Falhas

C. Detecção de falhas	Descrição	Avaliação	Probabilidade de um defeito alcançar o cliente (%)
	Probabilidade remota de que o defeito atinja o cliente (Não seria razoável esperar que uma falha dessas não fosse detectada durante a inspeção, teste ou montagem)	1	0 a 15%
	Baixa probabilidade de que a falha atinja o cliente	2	6 a 15%
		3	16 a 25%
	Probabilidade moderada de que a falha atinja o cliente	4	26 a 35%
		5	36 a 45%
		6	46 a 55%
	Alta probabilidade de que a falha atinja o cliente	7	56 a 65%
		8	66 a 75%
	Probabilidade muito alta que a falha atinja o cliente	9	76 a 85%
		10	86 a 100%

Quanto maior pior

Análise do Modo e Efeito de Falhas (FMEA)

Exemplo de avaliação da prioridade de risco

Exercício resolvido

Parte de um exercício de FMEA em uma empresa de transportes identificou três modos de falha associados com a falha “produtos que chegam danificados” no ponto de entrega.

- Produtos não seguramente presos (modo de falha 1)
- Produtos presos incorretamente (modo de falha 2)
- Produtos carregados incorretamente (modo de falha 3)

O grupo de melhoria que investiga as falhas alocou pontuações para a probabilidade do modo de falha que estava ocorrendo, a severidade de cada modo de falha e a probabilidade de serem detectadas usando as escalas ilustradas na Tabela 19.1, como segue:

Probabilidade de ocorrência

Modo de falha 1	5
Modo de falha 2	8
Modo de falha 3	7

Severidade de falha

Modo de falha 1	6
Modo de falha 2	4
Modo de falha 3	4

Probabilidade de detecção

Modo de falha 1	2
Modo de falha 2	5
Modo de falha 3	7

Calcula-se o NPR de cada modo de falha:

Modo de falha 1 (produtos não seguramente presos) $5 \times 6 \times 2 = 60$

Modo de falha 2 (produtos presos incorretamente) $8 \times 4 \times 5 = 160$

Modo de falha 3 (produtos carregados incorretamente) $7 \times 4 \times 7 = 196$

Assim, a prioridade é dada ao modo de falha 3 (produtos carregados incorretamente) ao se tentar eliminar a falha.

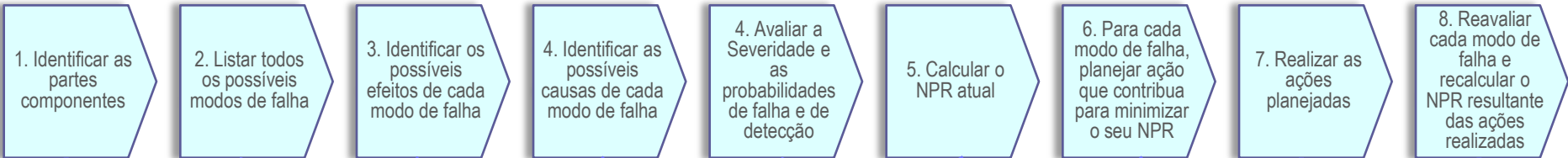
Menor prioridade

Maior prioridade

Análise do Modo e Efeito de Falhas

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Cálculo da prioridade do risco: Obtido do produto dos índices de Severidade, Frequência e Detecção



ESCOPO		ANÁLISE DA SITUAÇÃO ATUAL				ATUAL				PLANO DE AÇÕES			MELHORADO			
Componente / Sistema	Modo de falha	Efeito do modo de falha	Causa do modo de falha	Controle previsto	severidade	frequência	detecção	Risco (NPR)	Ação	Responsável	Validação	severidade	frequência	detecção	Risco (NPR)	

$$NPR = \text{Severidade dos efeitos da falha} \times \text{Probabilidade de falha} \times \text{Probabilidade de detecção}$$

Conceito de TPM

TPM

“Manutenção conduzida com a participação de todos”

Manutenção

- ☞ Respeito pelo equipamento.
- ☞ Manutenção Autônoma.

Produtiva

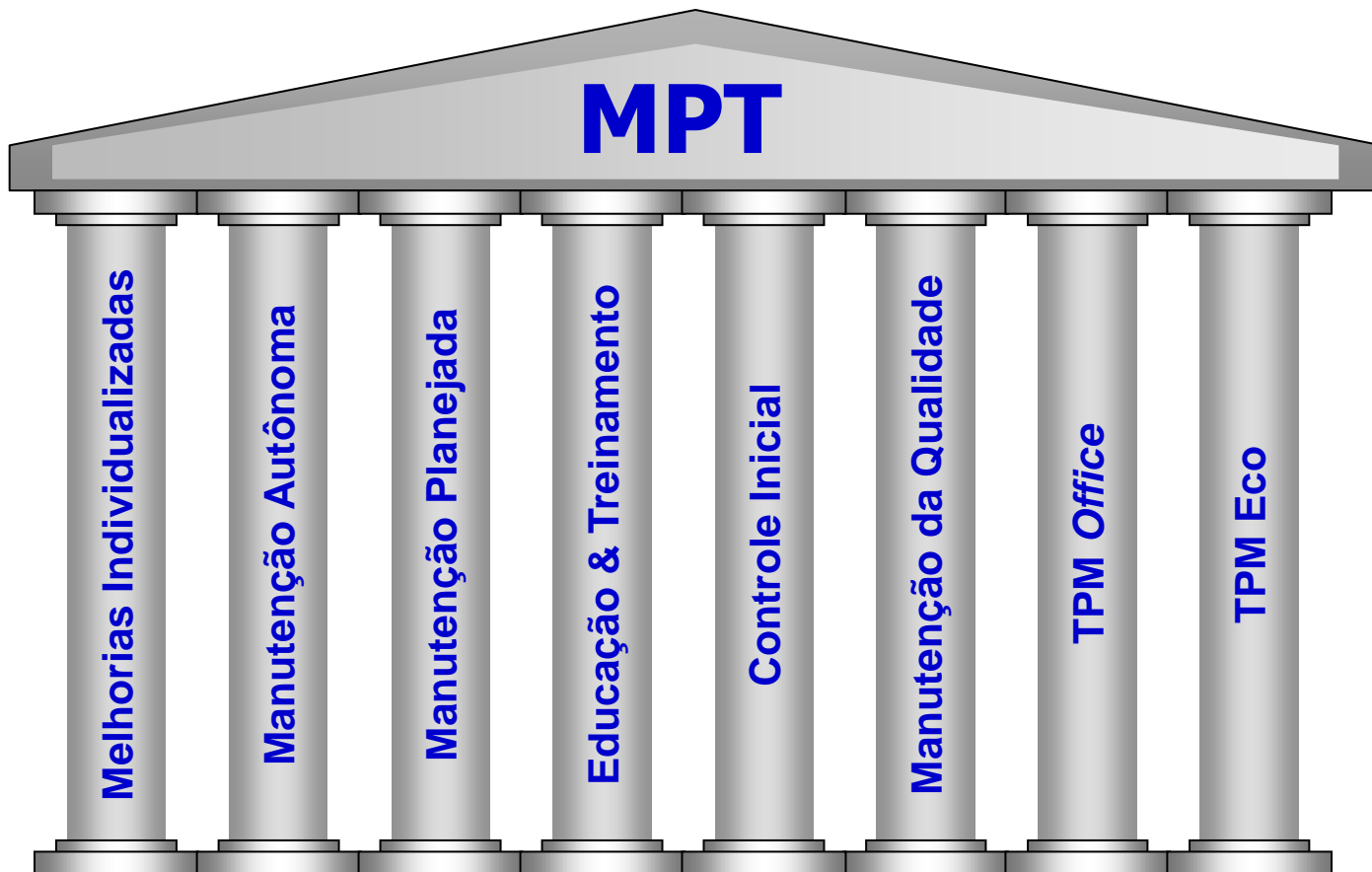
- ☞ Deixa de ser atividade exclusiva dos técnicos de manutenção.
- ☞ Promove o aumento da produtividade do equipamento.

Total

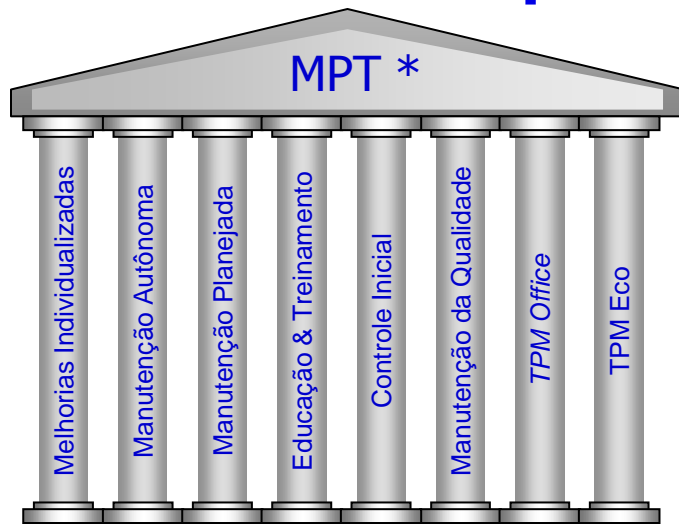
- ☞ **Todos** os níveis: presidente, diretores, ..., operadores.
- ☞ **Todos** os departamentos: engenharia, produção e manutenção.
- ☞ Ao longo de **todo** o ciclo de vida do equipamento.
- ☞ Rendimento **total**: máximo rendimento operacional global.

Manutenção Produtiva Total (MPT)*

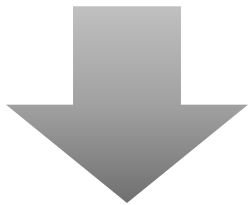
O modelo de Gestão Industrial da MPT
e seus 8 pilares



Importância da MPT para a produção enxuta



Como a MPT pode ajudar na implantação e sustentação da produção enxuta?



O gerenciamento efetivo dos pilares da MPT contribui substancialmente para a estabilidade do sistema de produção

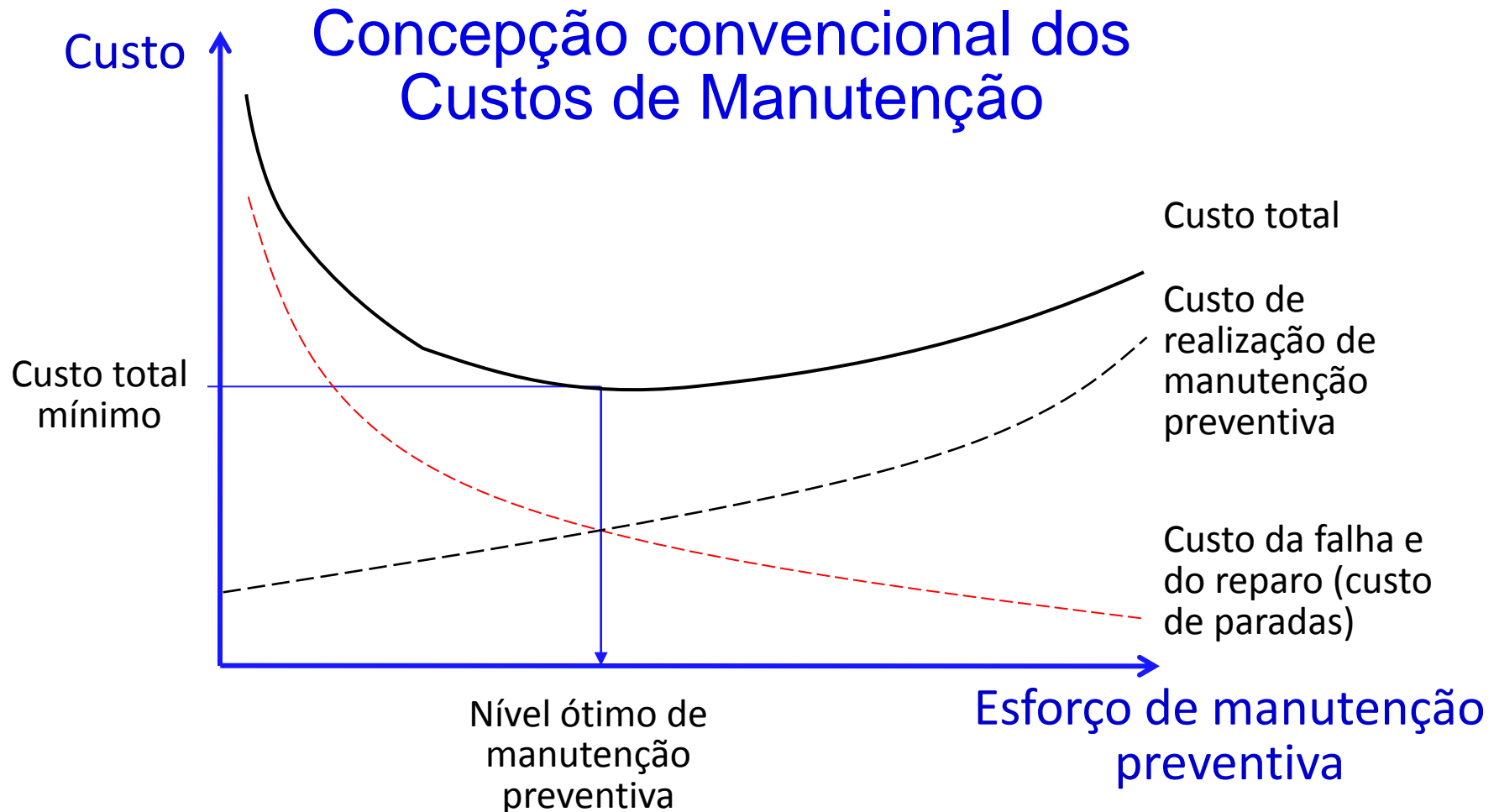
- ▶ A plena implantação da MPT requer grandes investimentos e esforços num programa de médio a longo prazo, mas a adoção de algumas de suas ferramentas pode reforçar ou complementar as ações de implementação da produção enxuta
- ▶ Dentre os métodos da MPT mais adotados por adeptos da produção enxuta destacam-se:
 - ▶ Avaliação do **rendimento operacional global** dos equipamentos (ativos) pelo **OEE**
 - ▶ Desenvolvimento dos operadores para a prática da **Manutenção Autônoma**

Tipos de Atividades de Manutenção

Aprimoramento das práticas de manutenção



Custo total de manutenção em função do esforço de manutenção preventiva



Custo total de manutenção em função do esforço de manutenção preventiva

